大西洋サケの鰓脂質および脂肪酸組成に及ぼす塩分の影響

竹内俊郎, 姜 石中, 渡辺 武

(1989 年 2 月 10 日受付)

Effects of Environmental Salinity on Lipid Classes and Fatty Acid Composition in Gills of Atlantic Salmon

Toshio Takeuchi,*¹ Seok-Joong Kang,*^{1,2} and Takeshi Watanabe*¹

Atlantic salmon *Salmo salar* were kept in water with different NaCl concentration (salinity: 0, 1 and 2‰) for 48 h in order to determine the effects of environmental salinity on lipid classes and their fatty acid composition of gills.

The percentage of gill weight to body weight decreased in fish kept in water with 1 and 2‰ salinity for 24 h. The total lipid of gills (mg/100 g fish body weight) also decreased from 897 mg of the initial value to 727 and 747 mg after adaptation to 1 or 2‰ salt water for 24 h. This was mainly due to decrease of triglyceride class of gill lipids. On the other hand, the content of polar lipids such as phosphatidylcholine (PC) and phosphatidylethanolamine (PE) was not influenced by salinity levels during 48 h adaptation.

The adaptation of salmon to 1 or 2‰ salt water for 24 h remarkably reduced the level of n-3 highly unsaturated fatty acids, especially docosahexaenoic acid (DHA) of PC in gill, while no change was observed in fatty acids of PE. On the other hand, all fatty acids in gill nonpolar lipids were decreased. These results suggest that some selected fatty acids such as DHA in gill polar lipids may have an important role for salinity adaptation.

サケ科魚類のスモルト期における成長, 体成分の変動等に関する研究は多く,¹⁻⁶⁾ 鰓については浸透圧調節の面から Na イオンや酵素の変動に関する研究が多く行われている。⁷⁻⁹⁾ 一方, スモルト期における魚体の脂質含量や脂肪酸組成におよぼす塩分の影響について調べた研究は少なく, 特に鰓の膜脂質の変化に関する報告は僅かである。¹⁰⁾ 恒温動物である哺乳類は一定の温度下で膜の流動性を維持しているが, 変温動物である魚類は環境の温度変化に対して, 膜組織の脂肪酸の不飽和度を増減させることにより調節することが知られている。¹¹⁻²⁰⁾ すなわち, 環境変化に対応して生体膜の流動性を保持する上で, 鰓脂質における脂肪酸代謝は魚類にとって極めて重要な意義を有する。魚類の生体膜の基本構成成分であるリン脂質は溶液中で濃度, 温度, 共存イオン等の影響により存在状態, 親水性頭部 (head-group) の化学構造, 脂肪酸組成²¹⁻²³⁾ 等が変動し, それにともなって生体膜に局在する酵素 (Na⁺/K⁺ ATPase) の活性も変動する。²⁴⁻²⁵⁾

魚類の海水適応時の塩分と関連する浸透圧調節時の生体膜の生化学的研究として, Daikoku ら²⁶⁾は Guppy の海水適応時, 腸を含む浸透圧器官の脂質含量および組成は増加せず, また, Jurss ら²⁷⁾はニジマスを用いて, 内臓の脂質含量は増加しないと報告している。脂肪酸組成において, 1 日で海水適応させたニジマスでは, 小腸頂端膜のホスファチジルコリン (PC) 中のドコサヘキサエン酸 (22:6 n-3; DHA) が 2 倍ほど増加する²⁸⁾ のに対し, ヨーロッパウナギの鰓の場合には 3 ケ月間の海水の適応でも変化しない²⁹⁾と報告され, 魚種と各器官により不一致な点がみられる。また, Turbot の必須脂肪酸 (EFA) の研究において, 鰓組織は EFA に対し敏感に反応するので, EFA 充足度の指標になると報告されている。³⁰⁾ そこで, 本研究では降海, ソ上という種固有の特異性を有する大西洋サケに着目し, 本種にとって極めて重要な意味を持つと考えられる浸透圧調節器官である鰓の脂質および脂肪酸組成におよぼす塩分の影響を調べることを目的に行った。

*¹ 東京水産大学資源育成学科 (Department of Aquatic Biosciences, Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato, Tokyo 108, Japan).

*² 現住所: 国立統営水産専門大学養殖学科 (Department of Aquaculture, National Tong-Yeong Fisheries College, Chung-mu, 603, Korea).

材料と方法

供試魚の大西洋サケ *Salmo salar* は輸入発眼卵を当研究室でふ化させ飼育したもので、平均体重 50 g 前後、全長 16–18 cm のスモルト化したものを用いた。予備飼育としてニジマス用市販配合飼料を1日体重の3%を3回に分けて実験開始前3週間給餌した。その後本実験期間中は無給餌とした。飼育には 30×30×45 cm のガラス製水槽を用い、流水式で注水量は 200–300 ml/min、水温は 15±1°C とした。予備実験中の飼育水には活性炭で残留塩素を除去した水道水を用いたが、本実験の際は市販の食塩を添加して食塩濃度(塩分)が1.0%及び2.0%になるように調節した飼育水を予備実験と同様に注水した。

実験区は Table 1 に示すように、塩分が 0% (対照区)、1.0% および 2.0% の計 3 区を設け、各区 24 尾を収容し、48 時間 (h) の飼育実験とした。

実験開始時、実験開始 24 h および 48 h 後にそれぞれ 12 尾ずつ取り上げ、各試験魚の鰓を摘出し、鰓重量を測定した。その後、各区 12 尾の鰓を 4 尾ずつの鰓に分けプールサンプルとし分析に供した。総脂質は Folch ら³¹⁾の方法により、クロロホルム: メタノール (2: 1) 混液で抽出した。抽出した総脂質 70–80 mg を SEP-PAK cartridges (MILLIPORE 社製) を用いて、クロロホルム 20 ml/ とクロロホルム: メタノール (49:1) 15 ml/ により非極性脂質を分画し、メタノール 30 ml/ により極性脂質を得た。次に、イヤトロスキヤン TH-10 (株式会社ヤマトロン製) により脂質組成を求めた。¹⁰⁾ なお、極性脂質の展開液としてクロロホルム: メタノール: 蒸留水 (65:35:4) 混液および非極性脂質の展開液として 1,2-ジクロロエタン: クロロホルム: 酢酸 (46:4:0.05) 混液を用いた。非極性脂質はケン化を行った後、極性脂質については調製薄層クロマトグラフィー (Kieselgel G60; Merck 社製) により PC およびホスファチジルエタノールアミン (PE) を分画した後、それぞれ BF₃・メタノール混液でメチルエステル化を行った。その他の分析条件については既報に準じた。^{32–34)} なお、各区で得られた triplicate の分析値については Duncan の多重比較法により実験区間の平均値の有意差を検定した。

結 果

鰓重量比及び総脂質含量 体重に対する鰓の重量比および脂質含量を Table 1 に示す。鰓重量比は塩分の増加に伴って大きく減少する傾向がみられ、特に各塩分の 24 h 区で最も減少し、対照区に比べて有意差 ($p < 0.05$) が認められた。鰓脂質含量 (TL) を見ると、各塩分の

Table 1. Effect of salinity on lipid classes*1 of gills in Atlantic salmon

	Initial	Control			1.0%		2.0%	
		24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h	
GW/BW*2 (%)	8.6 ± 0.14 ^b	8.6 ± 1.03 ^b	8.5 ± 0.38 ^b	6.3 ± 0.19 ^a	7.7 ± 1.21 ^{ab}	6.4 ± 0.39 ^a	7.8 ± 0.47 ^{ab}	
Total lipid (TL, %)	10.4 ± 0.45 ^a	10.5 ± 0.11 ^a	10.3 ± 0.16 ^a	11.6 ± 0.54 ^b	11.0 ± 0.52 ^{ab}	11.7 ± 0.59 ^b	11.1 ± 0.48 ^{ab}	
TL(mg/100 g fish body weight)	896.7 ± 50.65 ^b	891.9 ± 38.45 ^b	880.0 ± 44.02 ^b	727.0 ± 45.86 ^a	846.8 ± 56.51 ^{ab}	746.8 ± 24.70 ^{ab}	877.4 ± 12.47 ^{ab}	
Nonpolar lipid	811.3 ± 53.47 ^c	801.0 ± 15.76 ^c	784.4 ± 37.28 ^{bc}	639.9 ± 44.40 ^a	752.4 ± 34.75 ^{abc}	656.3 ± 32.08 ^{ab}	776.3 ± 37.68 ^{abc}	
Polar lipid	85.4 ± 8.33	95.9 ± 6.02	95.5 ± 17.70	87.1 ± 2.62	94.4 ± 10.49	90.4 ± 12.06	101.2 ± 2.79	
TG	800.5 ± 58.01 ^b	794.8 ± 24.12 ^b	768.8 ± 26.36 ^b	629.6 ± 39.05 ^a	741.3 ± 43.32 ^{ab}	645.3 ± 32.31 ^a	774.0 ± 41.13 ^b	
FS	4.6 ± 1.02 ^b	4.5 ± 0.87 ^b	4.3 ± 1.04 ^{ab}	2.7 ± 0.45 ^a	3.5 ± 1.88 ^{ab}	3.4 ± 0.23 ^{ab}	3.2 ± 0.24 ^{ab}	
PE	35.0 ± 2.29	39.4 ± 2.08	41.6 ± 6.59	41.2 ± 3.02	42.2 ± 6.14	39.6 ± 6.73	42.6 ± 3.28	
PC	50.4 ± 6.06	53.6 ± 3.88	53.9 ± 11.10	45.8 ± 0.72	56.9 ± 2.29	50.9 ± 5.46	61.0 ± 0.80	

*1 Abbreviations: TL, total lipids; TG, triglycerides; FS, free sterols; PE, phosphatidylethanolamine; PC, phosphatidylcholine. Traces (<0.01%); free fatty acids, diglycerides, monoglycerides, sphingomyelin, lysophosphatidylethanolamine. Mean±SD(n=3). The data were analyzed by Duncan's new multiple range test and values not sharing a common superscript letter are significantly different at $p < 0.05$. If no superscript letter appears, values are not statistically different at $p > 0.05$.

*2 Gill weight/body weight.

Fig. 1. Effect of environmental salinity on the content of total lipid of gills in Atlantic salmon *Salmo salar*.

—●—: 0% salinity (control),
—▲—: 1% salinity,
—■—: 2% salinity.

24 h 区で増加する傾向がみられたが、鰓重量比が上述したように減少していることから、魚体 100 g に占める鰓脂質量を計算し Table 1 および Fig. 1 に示した。各塩分区の総脂質量 (mg/100 g fish body weight) は実験開始時の魚および対照区と比較して減少する傾向がみられた。すなわち、各塩分区の 24 h 区が最も低い値を示し有意差が認められた ($p < 0.05$)。一方、48 h 区では再び増加したため有意差がなかった。

魚体 100 g 当たりの各脂質含量 魚体 100 g 当たりに換算した極性脂質と非極性脂質の含量および各脂質含量を Table 1 に示す。各塩分区分において、非極性脂質含量は 24 h 区で減少後、48 h 区で再び増加し、総脂質量と同様の傾向を示したが、極性脂質含量は変化しなかった。さらに各脂質を見ると、非極性脂質のトリグリセリド (TG) および遊離ステロール (FS) は共に塩分区分で低い値を示したが、時間毎に見ると、総脂質量同様 TG, FS とも 24 h 区で低く、48 h 区になると対照区に近似する傾向がみられた。一方、極性脂質中の PC と PE はいずれの区においても差は見られなかった。このことから塩分の影響は、極性脂質よりも非極性脂質で大きく、特に TG が最も影響を受けやすいことが分かった。

脂肪酸組成 総脂質、非極性脂質、PC および PE の脂肪酸組成を Table 2, 3, 4 および 5 にそれぞれ示す。なお、各区間の有意差をみるための脂肪酸の統計処理は Table 2 に示した 9 種類の主要脂肪酸のみとした。総脂質の脂肪酸組成では Table 2 に示すように、各区

Table 2. Main fatty acid compositions of the total lipids in gills*
(Area %)

Fatty acid	Initial	Control			1.0%		2.0%	
		24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h	
16:0	23.2±1.23	22.7±2.06	21.7±0.74	23.8±0.82	22.3±0.53	23.1±0.85	21.8±0.30	
18:1n-9	21.0±0.54	20.9±0.45	21.3±0.57	21.2±0.83	21.0±0.31	21.3±0.49	21.5±0.00	
20:4n-6	0.6±0.00	0.6±0.08	0.6±0.00	0.6±0.05	0.7±0.05	0.6±0.05	0.7±0.05	
20:5n-3	2.5±0.25	2.5±0.28	2.6±0.17	2.5±0.14	2.7±0.12	2.5±0.14	2.7±0.05	
22:6n-3	6.8±0.84	5.9±0.78	7.6±0.29	6.3±0.38	6.9±0.25	7.2±0.78	7.9±0.60	
Σn-9	22.4±0.45	22.5±0.65	23.0±0.73	22.6±0.90	22.5±0.35	22.7±0.53	23.1±0.00	
Σn-6	12.9±0.29	12.8±0.51	12.8±0.21	12.5±0.29	13.1±0.21	12.9±0.29	13.3±0.10	
Σn-3	12.6±1.37	11.8±1.22	13.7±0.58	12.0±0.59	13.2±0.49	12.9±1.03	14.0±0.70	
Σn-3HUFA	10.6±1.15	9.8±1.20	11.7±0.57	10.0±0.59	11.7±0.49	11.0±1.03	12.2±0.75	

* All the values are not statistically different at $p > 0.01$ level.

Table 3. Fatty acid compositions of nonpolar lipids in gills

(Area %)

Fatty acid	Initial	Control		1.0%		2.0%	
		24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h
14:0	6.9±0.68	5.3±0.17	5.2±0.29	5.4±0.87	6.3±0.35	5.3±0.35	4.8±0.44
16:0*	22.5±0.55	20.7±0.12	21.0±0.62	21.5±0.54	21.8±0.66	22.2±0.55	21.4±1.34
16:1n-7	7.0±0.28	6.0±0.10	6.3±0.21	6.3±0.34	6.6±0.18	6.3±0.25	6.0±0.24
18:0	4.6±0.11	5.0±0.16	4.9±0.07	5.0±0.27	4.8±0.17	5.1±0.06	5.3±0.16
18:1n-9*	19.7±0.42 ^a	21.3±0.31 ^{a b}	21.4±0.11 ^{a b}	22.0±1.08 ^b	20.7±0.51 ^{a b}	22.0±0.35 ^b	22.3±0.46 ^{a b}
18:1n-7	3.4±0.17	3.5±0.09	3.5±0.03	3.4±0.08	3.5±0.11	3.2±0.22	3.4±0.04
18:2n-6	11.0±0.37	10.9±0.34	11.1±0.43	10.5±0.02	10.6±0.35	10.9±0.14	11.2±0.07
18:3n-3	1.0±0.06	1.0±0.03	1.0±0.04	0.9±0.02	0.9±0.02	0.9±0.02	0.9±0.01
20:1n-9	1.6±0.11	1.7±0.05	1.8±0.18	1.9±0.43	1.8±0.10	1.7±0.04	1.9±0.22
20:3n-6	0.2±0.00	0.2±0.01	0.2±0.01	0.2±0.02	0.2±0.00	0.2±0.00	0.2±0.02
20:4n-6*	0.5±0.02	0.5±0.02	0.5±0.05	0.5±0.00	0.5±0.00	0.5±0.03	0.5±0.02
20:4n-3	0.5±0.01	0.5±0.00	0.5±0.01	0.5±0.00	0.5±0.02	0.5±0.02	0.5±0.04
20:5n-3*	2.7±0.19	2.6±0.13	2.6±0.07	2.5±0.06	2.6±0.10	2.4±0.08	2.5±0.23
22:4n-6	0.2±0.01	0.3±0.00	0.3±0.02	0.3±0.00	0.3±0.02	0.2±0.01	0.2±0.03
22:5n-6	0.1±0.02	0.1±0.00	0.1±0.01	0.1±0.00	0.1±0.00	0.1±0.00	0.1±0.02
22:5n-3	1.0±0.05	1.2±0.04	1.2±0.09	1.1±0.07	1.2±0.11	1.1±0.06	1.1±0.15
22:6n-3*	8.5±0.78	9.2±0.59	8.9±0.56	8.7±0.14	8.7±0.70	8.0±0.41	8.4±1.33
24:1	0.3±0.02	0.4±0.00	0.4±0.02	0.4±0.06	0.4±0.05	0.4±0.06	0.4±0.06
Σn-9*	21.4±0.51	23.1±0.05	23.4±0.28	24.1±1.61	23.0±0.05	23.9±0.34	24.6±0.06
Σn-6*	13.0±0.45	13.0±0.32	13.1±0.51	12.8±0.43	12.4±0.43	12.9±0.22	13.2±0.07
Σn-3*	14.7±0.74	15.4±0.69	15.1±0.70	14.5±0.18	14.7±0.87	13.7±0.58	14.3±1.78
Σn-3HUFA*	12.7±0.86	13.5±0.70	13.2±0.72	12.8±0.22	12.9±0.89	11.9±0.56	12.5±1.74

* See the footnote of Table 2. Values not sharing a common superscript letter are significantly different at $p < 0.01$.

Table 4. Fatty acid compositions of phosphatidylcholine in gills

(Area %)

Fatty acid	Initial	Control		1.0%		2.0%	
		24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h
14:0	1.6±0.06	1.7±0.18	1.5±0.08	1.6±0.00	1.6±0.06	2.2±0.01	1.5±0.29
16:0* ¹	29.8±0.06 ^{a b}	29.7±1.32 ^{a b}	27.9±0.46 ^a	29.1±0.38 ^{a b}	29.7±1.23 ^{a b}	33.8±1.23 ^b	27.9±4.09 ^a
16:1n-7* ^{1,2}	3.6±0.09	3.7±0.04	3.4±0.06	3.4±0.03	3.9±0.02	4.0±0.03	3.2±0.16
18:0	7.3±0.06	7.4±0.13	7.9±0.85	8.0±0.26	8.2±0.05	7.6±0.23	8.1±0.59
18:1n-9* ¹	17.0±0.21 ^{a b}	17.1±0.26 ^{a b}	17.3±0.56 ^b	16.9±0.30 ^{a b}	17.2±0.13 ^b	16.9±0.05 ^{a b}	15.8±0.81 ^a
18:1n-7	1.9±0.04	1.9±0.04	1.9±0.07	1.8±0.05	1.8±0.06	1.7±0.06	1.7±0.11
18:2n-6	3.1±0.10	2.9±0.10	2.9±0.06	2.8±0.05	2.9±0.12	2.8±0.06	3.2±0.30
18:3n-3	0.1±0.00	0.1±0.00	0.1±0.00	0.1±0.00	0.1±0.00	0.1±0.00	0.3±0.14
20:1n-9	0.4±0.02	0.5±0.02	0.4±0.03	0.5±0.02	0.5±0.03	0.4±0.03	0.4±0.02
20:3n-6	0.5±0.05	0.5±0.00	0.5±0.00	0.6±0.01	0.6±0.04	0.6±0.03	0.5±0.07
20:4n-6* ¹	4.1±0.15 ^a	3.9±0.04 ^a	4.3±0.16 ^{a b}	4.6±0.18 ^{b c}	4.9±0.06 ^c	4.0±0.05 ^a	4.7±0.14 ^{b c}
20:4n-3	0.2±0.01	0.2±0.00	0.1±0.00	0.1±0.00	0.1±0.00	0.1±0.03	0.2±0.00
20:5n-3* ¹	4.4±0.25 ^b	3.9±0.05 ^{a b}	4.0±0.30 ^{a b}	3.8±0.03 ^{a b}	3.9±0.14 ^{a b}	3.4±0.08 ^a	3.8±0.06 ^{a b}
22:4n-6	0.1±0.00	0.1±0.00	0.1±0.00	0.1±0.00	0.2±0.01	0.1±0.02	0.1±0.00
22:5n-6	0.4±0.00	0.4±0.01	0.4±0.02	0.4±0.00	0.3±0.03	0.3±0.02	0.3±0.00
22:5n-3	0.9±0.04	0.9±0.06	0.9±0.04	0.9±0.04	0.8±0.03	0.7±0.07	0.8±0.07
22:6n-3* ¹	19.7±0.50 ^c	19.9±0.71 ^c	19.9±1.01 ^c	18.7±0.23 ^{b c}	16.9±1.03 ^{a b}	15.0±1.02 ^a	15.2±0.33 ^a
24:1	0.7±0.02	0.9±0.07	1.0±0.07	1.4±0.22	1.0±0.29	0.9±0.23	1.5±0.82
Σn-9* ¹	17.4±0.34	17.6±0.28	17.8±0.59	17.6±0.30	17.7±0.10	17.1±0.41	16.3±0.83
Σn-6* ¹	8.8±0.27 ^{a b c}	8.4±0.10 ^{a b}	8.8±0.16 ^{a b c}	9.0±0.17 ^{b c}	9.3±0.24 ^c	8.3±0.20 ^a	9.3±0.08 ^c
Σn-3* ¹	25.2±0.81 ^d	24.9±0.83 ^d	25.0±1.29 ^d	23.6±0.18 ^{c d}	21.8±0.98 ^{b c}	19.4±1.19 ^a	20.2±0.59 ^{a b}
Σn-3HUFA* ¹	25.1±0.77 ^d	24.8±0.82 ^d	24.9±1.28 ^d	23.5±0.18 ^{c d}	21.7±0.95 ^{b c}	19.3±1.19 ^a	20.0±0.45 ^{a b}

*¹ See the footnote of Table 3.*² Other monoenes are included.

Table 5. Fatty acid compositions of phosphatidylethanolamine in gills

(Area %)

Fatty acid	Initial	Control		1.0%		2.0%	
		24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h
14:0	0.6±0.09	0.6±0.25	0.6±0.04	0.6±0.17	0.4±0.03	0.4±0.12	0.3±0.02
16:0* ¹	9.0±0.75	8.2±0.43	9.0±1.16	7.6±0.46	7.6±0.30	8.2±0.46	9.3±0.65
16:1n-7	1.9±0.07	1.7±0.12	1.9±0.35	1.6±0.42	2.1±0.12	2.2±0.30	2.3±0.08
18:0	7.2±0.05	7.0±0.04	6.8±0.31	6.2±0.12	6.1±0.11	6.5±0.22	6.8±0.20
18:1n-9* ¹	9.5±0.47	9.5±0.26	10.2±0.81	9.4±0.32	9.4±0.19	9.6±0.35	10.0±0.17
18:1n-7	2.8±0.12	2.7±0.07	3.1±0.10	2.6±0.03	2.9±0.17	2.7±0.20	2.9±0.01
18:2n-6	3.7±0.11	3.6±0.00	4.4±0.32	4.0±0.20	4.1±0.37	4.2±0.69	4.5±0.18
18:3n-3	0.1±0.00	0.1±0.00	0.2±0.02	0.2±0.00	0.2±0.02	0.2±0.82	0.2±0.02
20:1n-9* ²	0.9±0.08	1.0±0.02	0.9±0.03	0.9±0.02	0.8±0.02	0.9±0.07	0.9±0.06
20:3n-6	0.4±0.07	0.4±0.05	0.4±0.02	0.5±0.04	0.5±0.00	0.6±0.06	0.5±0.05
20:4n-6* ¹	5.2±0.15	4.9±0.26	5.0±0.23	5.2±0.19	5.5±0.11	5.3±0.26	5.2±0.25
20:4n-3	0.2±0.01	0.1±0.00	0.2±0.02	0.2±0.02	0.2±0.00	0.2±0.00	0.2±0.00
20:5n-3* ¹	3.7±0.07	3.4±0.11	3.4±0.19	3.3±0.10	3.5±0.16	3.3±0.12	3.5±0.07
22:4n-6	0.1±0.02	0.2±0.02	0.2±0.00	0.2±0.00	0.3±0.00	0.3±0.01	0.3±0.04
22:5n-6	0.5±0.04	0.6±0.03	0.5±0.04	0.5±0.02	0.5±0.02	0.5±0.02	0.4±0.03
22:5n-3	1.2±0.09	1.3±0.11	1.4±0.23	1.1±1.00	1.1±0.05	1.0±0.07	1.3±0.19
22:6n-3* ¹	28.8±1.56 ^{a b}	29.8±1.14 ^b	25.8±3.55 ^{a b}	26.3±0.94 ^{a b}	25.8±0.96 ^a	25.2±0.94 ^a	26.4±0.96 ^{a b}
24:1	0.6±0.11	0.8±0.46	0.9±0.16	1.1±0.21	0.6±0.02	1.0±0.36	0.8±0.07
Σn-9* ¹	9.6±0.48	9.6±0.22	10.2±0.81	9.4±0.32	9.4±0.19	9.6±0.35	10.0±0.17
Σn-6* ¹	10.5±0.32	10.3±0.38	11.1±0.11	11.0±0.56	11.4±0.26	11.4±0.64	11.5±0.62
Σn-3* ¹	33.9±1.54 ^{a b}	34.7±1.24 ^b	31.1±3.85 ^{a b}	31.2±1.09 ^{a b}	30.8±0.99 ^{a b}	30.5±0.51 ^a	31.6±0.04 ^{a b}
Σn-3HUFA* ¹	33.8±1.58 ^{a b}	34.6±1.17 ^b	30.9±3.81 ^{a b}	30.9±1.13 ^{a b}	30.6±1.00 ^{a b}	29.7±1.06 ^a	31.4±0.03 ^a

*¹ See the footnote of Table 3.*² Other monoenes are included.

Table 6. The concentration of main fatty acids of the total lipids in gills*
(Fatty acid mg/100 g fish body weight)

Fatty acid	Control				1.0%		2.0%	
	Initial		24 h		24 h		24 h	
16:0	208.3±24.20	201.8±25.27	191.6±19.31	172.9±15.54	188.9±15.67	172.2±7.68	191.0±12.53	
18:1n-9	188.1±15.09 ^b	187.0±14.88 ^b	187.6±10.46 ^b	153.9±8.14 ^a	178.2±20.20 ^{a,b}	159.0±5.58 ^{a,b}	188.6±15.90 ^b	
20:4n-6	5.4±0.36 ^{a,b}	5.4±0.23 ^{a,b}	5.3±0.32 ^{a,b}	4.1±0.43 ^a	5.7±0.86 ^{a,b}	4.7±0.56 ^{a,b}	5.7±1.40 ^b	
20:5n-3	22.1±2.53 ^{a,b}	22.8±2.73 ^b	23.1±0.70 ^b	18.2±1.47 ^a	23.2±3.59 ^b	18.7±1.68 ^{a,b}	23.3±3.81 ^b	
22:6n-3	60.5±8.59 ^{a,b,c}	62.4±4.02 ^c	66.5±1.10 ^c	46.0±3.86 ^a	58.8±7.92 ^{a,b,c}	53.2±4.24 ^{a,b}	69.8±6.76 ^c	
Σn-9	202.1±15.44 ^b	201.1±17.42 ^b	202.2±10.81 ^b	163.8±8.16 ^a	190.7±21.84 ^{a,b}	169.7±6.23 ^{a,b}	202.7±17.03 ^b	
Σn-6	115.6±5.72 ^b	114.6±7.82 ^b	112.4±9.08 ^b	90.6±4.52 ^a	111.1±9.37 ^b	96.1±5.77 ^{a,b}	116.8±7.20 ^b	
Σn-3	112.4±13.90 ^{a,b,c}	114.1±8.85 ^{b,c}	120.0±1.85 ^c	87.4±6.29 ^a	112.0±15.79 ^{a,b,c}	96.7±6.76 ^{a,b}	123.4±5.55 ^c	
Σn-3HUFA	94.8±12.84 ^{a,b,c}	102.6±6.01 ^{b,c}	103.0±0.89 ^c	72.9±3.34 ^a	94.8±14.33 ^{a,b,c}	82.5±11.33 ^{a,b}	107.3±13.94 ^c	

* See the footnote of Table 1.

の主要脂肪酸の間にほとんど差がなかった。非極性脂質の脂肪酸組成も Table 3 に示すように、対照区と各塩分区分区でいずれも近似しており、非極性脂質脂肪酸組成に対する塩分の影響は認められなかった。一方、PC 画分ではアラキドン酸 (20:4n-6; AA) の割合が塩分 2.0% の 24 h 区を除いて両塩分区分で増加したが、n-3 系列の DHA や総 n-3 高度不飽和酸 (Σn-3HUFA) は塩分区分で減少する傾向がみられた (Table 4)。また、脂肪酸組成中に占める割合は、飽和酸のパルミチン酸 (16:0) が 27.9-33.8% で最も多く、次いで DHA が 15.0-19.9% であった。PE 画分の脂肪酸組成は PC と異なり、各区の間に明確な差がみられなかった (Table 5)。各脂肪酸の割合も PC と異なり、16:0 が 7.6-9.3% と少なく、n-3HUFA の大部分は DHA であり、Σn-3HUFA が 29.7-33.8% と高い値を示していた。

魚体 100 g 当たりの鰭の各脂肪酸含量 総脂質含量同様、魚体 100 g 当たりに換算した総脂質、非極性脂質、PC および PE に占める脂肪酸含量を Table 6, 7 および 8 に示す。総脂質中の脂肪酸含量を見ると、両塩分区分の 24 h 区で Table 6 に示した全ての脂肪酸が減少していた。非極性脂質の脂肪酸含量も、総脂質と同様の傾向を示した (Table 7)。極性脂質の PC および PE の脂肪酸含量 (Table 8) は、上述の総脂質および非極性脂質とは大きく異なっていた。すなわち、PC では両塩分区分の 24 h 区で DHA を含む n-3HUFA 含量が減少し、また 48 h 区で AA が増加したが、n-9 系列酸に変動はなかった。一方、PE ではいずれの脂肪酸含量とも全く変動しなかった。

考 察

大西洋サケの鰭脂質におよぼす塩分の影響を調べた結果、飼育水を淡水から 1% あるいは 2% 食塩水へ切り替えると、24 h 後には鰭の総脂質含量が増加した。この結果は Daikoku ら²⁸⁾が Guppy を海水に馴致した時、鰭の脂質含量が増加したことと一致していた。しかし、体重 100 g に対する鰭脂質量は鰭重量比が大きく減少したことから逆に低下することが分かった。すなわち、塩水馴致により鰭の脂質含量は相対的には増加するが、絶対量では減少することが明らかとなった。塩分馴致により PC および PE を含む極性脂質画分の含量は変化しなかったが、非極性脂質画分の変化は顕著で、特に、TG 含量は 24 h 区で有意に減少し、48 h 後には再び増加していた。これらのことから総脂質、特に TG が大西洋サケの浸透圧調節初期に変動していることが示唆された。

各画分の脂肪酸組成の分析結果を見ると、総脂質では特に顕著な変化はみられず、Guppy²⁸⁾ の肝臓および筋

Table 7. The concentration of fatty acids of nonpolar lipids in gills

Fatty acid	(Fatty acid mg/100 g fish body weight)						
	Initial	Control		1.0%		2.0%	
		24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h
14:0	55.6± 3.35	44.6± 4.63	40.8± 3.94	34.8± 8.16	47.6± 7.21	34.8±2.92	37.4± 1.06
16:0*	182.3± 6.91 ^c	176.5±10.90 ^{bc}	165.2±12.91 ^{abc}	137.3±10.92 ^a	163.5± 8.71 ^{abc}	146.0±9.84 ^{ab}	167.3±11.84 ^{abc}
16:1n-7	56.3± 2.16	50.7± 3.15	49.4± 3.03	40.3± 4.18	49.3± 4.52	41.1±2.46	46.7± 0.60
18:0	37.4± 3.33	43.0± 7.41	38.6± 2.18	32.0± 2.59	35.7± 2.06	33.7±2.07	41.5± 2.02
18:1n-9*	160.2±14.55 ^{abc}	168.6± 9.98 ^c	167.9± 6.97 ^{abc}	140.7±10.73 ^a	155.3± 8.69 ^{abc}	144.2±6.57 ^{ab}	173.4±11.23 ^{bc}
18:1n-7	27.7± 1.42	27.5± 1.89	27.8± 1.20	21.7± 1.34	26.1± 2.35	21.3±0.42	26.1± 1.39
18:2n-6	88.9± 6.93	86.6± 5.00	86.8± 8.00	67.1± 4.88	79.5± 3.53	71.7±3.43	86.9± 3.88
18:3n-3	8.1± 0.77	8.1± 0.99	7.7± 0.68	5.8± 0.36	6.9± 0.40	6.0±0.23	7.2± 0.90
20:1n-9	26.1± 1.65	27.7± 1.89	28.9± 1.32	23.2± 2.13	27.3± 2.06	22.8±1.94	28.1± 0.87
20:3n-6	1.5± 0.47	1.6± 0.20	1.7± 0.21	1.3± 0.17	1.5± 0.10	1.4±0.09	1.6± 0.07
20:4n-6*	3.7± 0.44 ^{ab}	3.9± 0.23 ^b	3.8± 0.55 ^{ab}	3.1± 0.26 ^a	3.4± 0.36 ^{ab}	3.0±0.27 ^a	3.5± 0.36 ^{ab}
20:4n-3	4.0± 0.34	4.0± 0.17	4.0± 0.12	3.1± 0.24	3.6± 0.42	3.1±0.20	3.7± 0.17
20:5n-3*	21.7± 3.32 ^b	21.6± 0.38 ^b	20.6± 0.82 ^b	16.0± 0.67 ^a	19.4± 2.57 ^{ab}	15.8±0.95 ^a	19.1± 0.45 ^{ab}
22:4n-6	1.8± 0.25	2.0± 0.24	2.0± 0.15	1.6± 0.11	2.0± 0.35	1.6±0.11	1.8± 0.04
22:5n-6	0.9± 0.29	0.9± 0.15	0.7± 0.11	0.8± 0.08	0.8± 0.02	0.7±0.33	0.9± 0.07
22:5n-3	8.5± 0.96	9.3± 0.04	9.0± 0.51	7.3± 0.89	8.8± 1.60	7.0±0.56	8.3± 0.36
22:6n-3*	69.3±10.23 ^{bc}	69.8± 3.81 ^c	69.7± 3.17 ^c	55.3± 3.35 ^{ab}	66.0± 2.26 ^{abc}	52.4±4.77 ^a	64.4± 4.61 ^{abc}
24:1	2.1± 0.36	2.9± 0.53	2.9± 0.21	2.5± 0.55	2.9± 0.58	2.4±0.56	2.7± 0.24
Σn-9*	173.4±16.01 ^{abc}	183.6± 7.49 ^c	183.1± 6.62 ^{abc}	153.9±14.53 ^a	173.0±15.11 ^{abc}	156.6±6.85 ^{ab}	190.6±19.49 ^{bc}
Σn-6*	105.3±10.75 ^c	103.1± 4.21 ^c	102.7± 9.20 ^c	81.9± 7.68 ^a	93.4± 4.19 ^{abc}	84.5±4.35 ^{ab}	102.0± 4.75 ^{bc}
Σn-3*	125.5±24.19 ^b	124.9± 9.20 ^b	118.3± 4.24 ^b	92.9± 5.53 ^a	111.3±17.68 ^{ab}	89.7±6.87 ^a	109.2± 2.76 ^{ab}
Σn-3HUFA*	103.4±13.68 ^{bc}	103.1± 5.59 ^c	103.3± 4.09 ^c	81.7± 5.10 ^{ab}	97.9± 6.73 ^{abc}	78.3±6.49 ^a	95.5± 4.35 ^{abc}

* See the footnote of Table 1.

Table 8. The concentration of some fatty acid* of phosphatidylcholine and phosphatidylethanolamine in gills

(Fatty acid mg/100 g fish body weight)

Fatty acid	Initial	Control		1.0%		2.0%	
		24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h
Phosphatidylcholine							
20:4n-6	2.1±0.38 ^{a,b}	2.1±0.42 ^{a,b}	2.3±0.42 ^{a,b}	2.1±0.13 ^{a,b}	2.8±0.56 ^b	2.0±0.21 ^a	2.9±0.08 ^b
20:5n-3	2.2±0.33	2.2±0.45	2.1±0.26	1.7±0.04	2.2±0.53	1.7±0.21	2.3±0.08
22:6n-3	9.9±1.07 ^{b,c}	10.4±1.46 ^c	10.7±1.91 ^c	8.6±0.10 ^{a,b}	9.5±1.30 ^{a,b,c}	7.7±1.24 ^a	9.3±0.40 ^{a,b,c}
Σn-9	9.4±0.27	9.3±1.95	9.6±1.94	8.0±0.10	10.1±1.25	8.2±0.87	9.9±0.57
Σn-6	4.7±0.17 ^{a,b}	4.7±0.96 ^{a,b}	4.7±0.90 ^{a,b}	4.1±0.15 ^a	5.3±1.00 ^{a,b}	4.0±0.47 ^a	5.7±0.13 ^b
Σn-3HUFA	12.7±1.47 ^{b,c}	13.0±1.06 ^c	13.4±1.26 ^c	10.8±0.12 ^{a,b}	12.2±1.92 ^{a,b,c}	9.8±1.55 ^a	12.2±0.53 ^{a,b,c}
Phosphatidylethanolamine							
20:4n-6	1.8±0.17	1.9±0.49	2.1±0.34	2.1±0.14	2.3±0.34	2.1±0.41	2.1±0.02
20:5n-3	1.2±0.11	1.3±0.36	1.4±0.18	1.4±0.07	1.5±0.29	1.3±0.25	1.4±0.07
22:6n-3	10.3±0.82	10.5±0.14	10.6±0.69	10.9±0.75	10.9±1.84	10.0±2.14	10.9±1.02
Σn-9	3.6±0.09	4.1±0.68	4.3±1.11	3.7±0.41	3.9±0.53	3.5±0.43	4.1±0.21
Σn-6	3.8±0.20	4.4±0.47	4.6±0.68	4.5±0.26	4.8±0.75	4.5±0.56	4.7±0.01
Σn-3HUFA	11.8±1.02	12.1±1.71	12.7±0.68	12.7±0.85	12.9±2.21	11.8±2.50	12.9±1.01

* See the footnote of Table 1.

肉の脂肪酸組成の場合と一致したが、鰓および消化管の結果とは異なっていた。すなわち、海水適応した Guppy の鰓および消化管では 16:0 が多少減少し、AA および DHA が増加しており、同一魚種でも器官によって差がみられている。本実験では Table 6 に示したように魚体 100 g 当りで見ると、対照区に比べて 24 h 塩分区分では n-3HUFA、主に DHA、が顕著に減少し ($p < 0.05$)、その後再び増加する傾向がみられた。このことは塩水適応時の初期段階で n-3HUFA が特に鰓以外に移動したことを示している。また、非極性脂質の脂肪酸組成は変化せず、これは先に述べた Guppy における筋肉 TG の脂肪酸組成の結果と同様であった。しかし、魚体 100 g 当たりに換算した非極性脂質の各脂肪酸の含量を見ると、16:0, 18:1n-9, AA, 20:5n-3 (EPA) および DHA が 24 h 区で有意に減少した ($p < 0.05$) ことから、塩水適応時、非極性脂質中の各脂肪酸に対する選択性はなく、ほとんどの脂肪酸が均等に変動したと考えられた。

一方、Guppy の消化管²⁶⁾とニジマスの小腸頂端膜²⁸⁾では、PC の脂肪酸組成において、DHA の増加に起因した n-3HUFA の組成比が顕著に増加していることから、これが浸透圧調節に関与する物質であると考察している。しかし、本実験では塩水馴致すると PC 画分の DHA の減少と AA の増加がみられたが、その他の脂肪酸組成には変化がなかった。さらに、魚体 100 g 当たりの各脂肪酸の含量をみると、Table 8 に示したように、各塩分 24 h 区で DHA と Σ n-3HUFA の減少、48 h 区で AA の増加が有意に認められた。

Hansen³⁵⁾ はヨーロッパウナギにおいて ^{14}C -アセテートと ^{32}P -リン酸を飼育水に添加した場合、海水区の鰓 PE の 16:1, 18:1 に ^{14}C 、および ^{32}P の取り込みが多かったことから、塩類輸送キョー物質をモノ不飽和 PE であると報告している。しかし、今回の実験では、Table 5 に示したように PE の脂肪酸組成にはほとんど変化がなく、さらに Table 8 に示したように魚体 100 g 当たりに換算しても有意差が認められず、同じ極性脂質である PC とは異なるパターンを示した。

今回の結果から、大西洋サケでは塩水適応時、鰓脂質中の TG および FS 含量は塩分の違いにより変化するのに対して、PC および PE 含量は変化しないことが分かった。さらに、非極性脂質の脂肪酸に選択性はなく、ほとんどの脂肪酸が減少するのに対して、細胞膜の構成成分である PC の脂肪酸では DHA に起因した n-3HUFA の減少と、AA の増加が認められ、また、PE の脂肪酸は全く変動しなかったことから、極性脂質の脂肪酸の動員には選択性があると考えられた。一般に、海産魚の浸透圧調節にたずさわる器官は n-3, n-6

系列の HUFA を豊富に持っていること³⁶⁾ PC 中の AA, EPA および DHA はプロスタグランジン (PG) の前駆物質であり^{37,38)} さらに、鰓中の PG が浸透圧調節に関与していること³⁹⁾ を考えると、本実験での DHA および AA の減少あるいは増加の現象は、鰓の浸透圧ないし体液恒常性調節と関連しているものと推察された。今後リン酸転移酵素の親和性および活性変動と塩分との関係についても検討すべきだと考える。一方、Guppy およびニジマスの場合と本実験の大西洋サケとの間にはいくつかの相違点がみられたが、大西洋サケについては EFA 要求や脂質代謝に関する知見が乏しく、本実験のような脂質代謝と塩分との関係を調べた研究例も極めて少ない現状では、魚種間の相違点について直接比較検討することには無理があろう。また、本実験の結果から、塩分の影響により器官重量比が大きく変動する場合には、脂質および脂肪酸組成等は絶対値で表示し比較することが望ましいと判断された。今後さらに、大西洋サケを含め他の魚種の浸透圧器官における脂質代謝とスモルト期および塩分との関係についての研究が必要と考える。

謝 辞

本研究を行うに当たり、大西洋サケの発眼卵を提供していただいた日本水産株式会社へ厚く御礼申しあげる。

文 献

- 1) L. C. Folmar and W. W. Dickhoff: *Aquaculture*, **21**, 1-37 (1980).
- 2) C. E. Johnston and R. L. Sanders: *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **38**, 1189-1198 (1981).
- 3) R. L. Blake, F. L. Robert, and R. L. Saunders: *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **41**, 199-203 (1984).
- 4) R. L. Saunders, E. B. Henderson, and P. R. Harmmen: *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **40**, 1203-1211 (1983).
- 5) G. J. Farmer, J. A. Ritter, and D. Ashfield: *J. Fish. Res. Board Can.*, **35**, 93-100 (1978).
- 6) P. J. Higgins: *Aquaculture*, **45**, 33-53 (1985).
- 7) R. D. Ewing, M. D. Evenson, E. K. Birks, and A. R. Hemmingsen: *Aquaculture*, **40**, 209-221 (1984).
- 8) T. H. McCartney: *Comp. Biochem. Physiol.*, **53A**, 351-353 (1976).
- 9) R. L. Saunders and E. B. Henderson: *J. Fish. Res. Board Can.*, **35**, 1542-1546 (1978).
- 10) G. Zwingelstein, F. Portoukalin, G. Rebel, and G. Brichon: *Comp. Biochem. Physiol.*, **65B**, 555-558 (1980).
- 11) W. G. Knipprath and J. F. Mead: *Lipids*, **3**, 121-128 (1968).
- 12) E. Virtanex and A. Oikari: *Comp. Biochem.*

- Physiol.*, **78A**, 387-392 (1984).
- 13) R. Reiser, B. Stevenson, M. Kayama, R. B. R. Choudhury, and D. W. Hood: *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, **40**, 507-513 (1963).
- 14) P. Kemp and M. W. Smith: *Biochem. J.*, **117**, 9-15 (1970).
- 15) M. Hirata, T. Hisai, and M. Kayama: *Yukagaku*, **34**, 673-680 (1985).
- 16) M. Kayama, M. Hirata, and T. Hisai: *Nippon Suisan Gakkaishi*, **52**, 853-857 (1986).
- 17) H. Dutta, A. Dsa, A. B. Das, and T. Farkas: *Comp. Biochem. Physiol.*, **81B**, 341-347 (1985).
- 18) N. F. Avrova: *Comp. Biochem. Physiol.*, **78B**, 903-909 (1984).
- 19) 竹内俊郎, 渡辺 武: 日水誌, **48**, 1307-1316 (1983).
- 20) R. Paxton and B. L. Umminger: *Comp. Biochem. Physiol.*, **74B**, 503-506 (1983).
- 21) M. A. Sheridan: *Comp. Biochem. Physiol.*, **90B**, 679-690 (1988).
- 22) R. F. Burton: *Comp. Biochem. Physiol.*, **76B**, 663-671 (1983).
- 23) G. Flik, E. W. Bonga, and J. C. Fenwick: *Comp. Biochem. Physiol.*, **76B**, 745-754 (1983).
- 24) G. Flik, E. W. Bonga, and J. C. Fenwick: *Comp. Biochem. Physiol.*, **79B**, 9-16 (1984).
- 25) G. Flik, E. W. Bonga, and J. C. Fenwick: *Comp. Biochem. Physiol.*, **79B**, 521-524 (1984).
- 26) T. Daikoku, I. Yano, and M. Masui: *Comp. Biochem. Physiol.*, **73A**, 167-174 (1982).
- 27) K. Jurss, T. Bittorf, and T. Voklev: *Comp. Biochem. Physiol.*, **81B**, 73-79 (1985).
- 28) C. Leray, S. Chapelle, G. Duportail, and A. Florentz: *Biochim. Biophys. Acta.*, **778**, 233-238 (1984).
- 29) A. J. Thomson, J. R. Sargent, and J. M. Owen: *Comp. Biochem. Physiol.*, **56B**, 223-228 (1977).
- 30) M. V. Bell, R. J. Henderson, B. J. S. Pirie, and J. R. Sargent: *J. Fish Biol.*, **26**, 181-191 (1985).
- 31) J. Folch, M. Lees, and G. N. S. Stanly: *J. Biol. Chem.*, **226**, 497-509 (1957).
- 32) T. Watanabe and T. Takeuchi: *Nippon Suisan Gakkaishi*, **42**, 893-906 (1976).
- 33) T. Takeuchi and T. Watanabe: *Nippon Suisan Gakkaishi*, **48**, 1745-1753 (1982).
- 34) T. Watanabe, T. Takeuchi, T. Arakawa, K. Imaizumi, S. Sekiya, and C. Kitajima: *Nippon Suisan Gakkaishi*, **55**, 1111-1117 (1989).
- 35) H. J. M. Hansen: *Comp. Biochem. Physiol.*, **88B**, 323-332 (1987).
- 36) M. V. Bell, C. M. F. Simpson, and J. R. Sargent: *Lipids*, **18**, 720-726 (1983).
- 37) R. J. Henderson and D. R. Tocher: *Prog. Lipid Res.*, **26**, 281-347 (1987).
- 38) D. H. S. Greene and D. P. Selivonchick: *Prog. Lipid Res.*, **26**, 53-85 (1987).
- 39) 野村 正: 海洋天然物化学 (日本化学会編), 学会出版センター, 東京, 1979, pp. 235-245.